

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-228895

(43)Date of publication of application : 14.08.2002

(51)Int.Cl. G02B 6/42  
H01L 31/0232  
H04B 10/02  
H04B 10/12  
H04B 10/13  
H04B 10/135  
H04B 10/14  
H04B 10/18

(21)Application number : 2001-348999 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 14.11.2001 (72)Inventor : NUMATA KAZUNORI  
FURUSAWA SATOSHI  
MORIKURA SUSUMU

(30)Priority

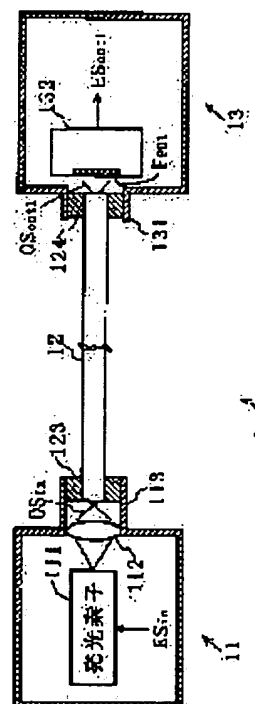
Priority number : 2000365439 Priority date : 30.11.2000 Priority country : JP

## (54) OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a low-cost optical transmission system while reducing the influence of mode dispersion.

SOLUTION: In an optical transmission system Sa, a lens 112 converges an optical signal OSin of the light emission element 111. The optical signal OSin having passed through the lens 112 enters a multimode fiber (MMF) 12. The vertex Z0 of the lens 112 and the input plane Fin of the MMF 12 are at a distance Z1. The distance Z1 is set to a value which is not equal to the distance from the vertex Z0 to the focal point Zfp, of the lens 112.



---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 30.09.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-228895  
(P2002-228895A)

(43) 公開日 平成14年8月14日 (2002. 8. 14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 2 B 6/42		G 0 2 B 6/42	2 H 0 3 7
H 0 1 L 31/0232		H 0 1 L 31/02	C 5 F 0 8 8
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	Q 5 K 0 0 2
10/12			M
10/13			

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-348999(P2001-348999)  
(22) 出願日 平成13年11月14日 (2001. 11. 14)  
(31) 優先権主張番号 特願2000-365439(P2000-365439)  
(32) 優先日 平成12年11月30日 (2000. 11. 30)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821  
松下電器産業株式会社  
大阪府門真市大字門真1006番地  
(72) 発明者 沼田 和憲  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(72) 発明者 古澤 佐登志  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(74) 代理人 100098291  
弁理士 小笠原 史朗

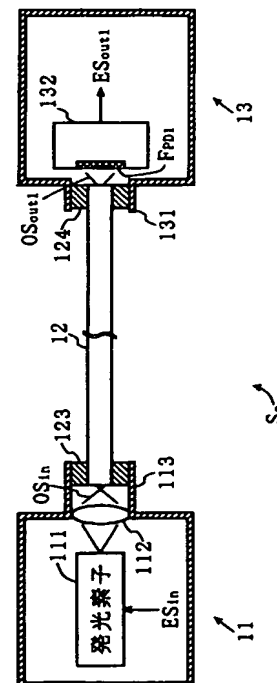
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 モード分散の影響を低減しつつ、低コストな光伝送システムを提供することである。

【解決手段】 光伝送システム S<sub>a</sub> において、レンズ 112 は、発光素子 111 の出射光信号 O S<sub>in</sub> を集束する。レンズ 112 の通過光信号 O S<sub>in</sub> は、マルチモードファイバ (MMF) 12 に入射する。ここで、レンズ 112 の頂点 Z<sub>0</sub> と、MMF 12 の入射面 F<sub>in</sub> とは、距離 Z<sub>1</sub> だけ離される。距離 Z<sub>1</sub> は、頂点 Z<sub>0</sub> からレンズ 112 の焦点 Z<sub>f</sub> までの値以外に設定される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 送信ユニットから受信ユニットへと、マルチモードファイバを通じて光信号を伝送する光伝送システムであって、

前記送信ユニットは、

光信号を生成する発光素子と、

前記発光素子で生成された光信号を集束し、焦点を結ばせる少なくとも1つのレンズとを含み、

前記レンズにより集束された光信号は、前記マルチモードファイバの入射面に入射され、当該マルチモードファイバを伝播し、

前記受信ユニットは、前記マルチモードファイバから出射される光信号を受光する受光素子を含み、

前記入射面は前記焦点以外の位置に配置される、光伝送システム。

【請求項2】 前記入射面は、前記レンズを基準として、前記焦点よりも離れた位置に配置される、請求項1に記載の光伝送システム。

【請求項3】 光信号を生成して、マルチモードファイバに向けて出射する送信ユニットであって、

光信号を生成する発光素子と、

前記発光素子で生成された光信号を集束して、焦点を結ばせる少なくとも1つのレンズとを含み、

前記レンズにより集束された光信号は、前記マルチモードファイバの入射面に入射され、

前記レンズは、前記入射面が前記焦点以外に位置するように配置される、送信ユニット。

【請求項4】 前記入射面は、前記レンズを基準として、前記焦点よりも離れた位置に配置される、請求項3に記載の送信ユニット。

【請求項5】 前記マルチモードファイバが接続され、前記入射面を前記焦点以外の位置に固定するレセプタクルをさらに備える、請求項3に記載の送信ユニット。

【請求項6】 送信ユニットから受信ユニットへと、マルチモードファイバを通じて光信号を伝送する光伝送システムであって、

前記送信ユニットは、

光信号を生成する発光素子と、

前記発光素子で生成された光信号を集束して、焦点を結ばせる少なくとも1つのレンズとを含み、

前記レンズにより集束された光信号は、前記マルチモードファイバの入射面に入射され、当該マルチモードファイバを伝播した後、当該マルチモードファイバの出射面から出射され、

前記受信ユニットは、前記出射面からの光信号を、自身の受光面で受光する受光素子を含み、

前記受光素子の受光面は、前記出射面から予め定められた距離だけ離して配置される、光伝送システム。

【請求項7】 前記受光素子は、Si PIN フォトダイオードである、請求項6に記載の光伝送システム。

【請求項8】 マルチモードファイバから出射される光信号を受信する受信ユニットであって、

前記マルチモードファイバの出射面からの光信号を、自身の受光面で受光する受光素子と、

前記マルチモードファイバが接続され、前記受光面から予め定められた距離だけ離れた位置に前記出射面を固定するレセプタクルとを備える、受信ユニット。

【請求項9】 送信ユニットから受信ユニットへと、マルチモードファイバを通じて光信号を伝送する光伝送システムであって、

前記送信ユニットは、

光信号を生成する発光素子と、

前記発光素子で生成された光信号を集束し、焦点を結ばせる少なくとも1つのレンズとを含み、

前記レンズにより集束された光信号は、前記マルチモードファイバの入射面に入射され、当該マルチモードファイバを伝播した後、当該マルチモードファイバの出射面から出射され、

前記受信ユニットは、前記出射面からの光信号を、自身の受光面で受光する受光素子を含み、

前記入射面は前記焦点以外の位置に配置され、さらに、前記受光面は前記出射面から予め定められた距離だけ離して配置される、光伝送システム。

【請求項10】 前記入射面は、前記レンズの頂点を基準として、前記焦点よりも離れた位置に配置される、請求項9に記載の光伝送システム。

【請求項11】 前記受光素子は、Si PIN フォトダイオードである、請求項9に記載の光伝送システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光伝送システムに関し、より特定的には、マルチモードファイバを通じて、送信ユニットから受信ユニットへと光信号を伝送するシステムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年の技術進展により、光ファイバは、広帯域・低損失を満足できるものとなってきたため、インターネットに代表されるネットワークにおいて、交換局同士を結ぶ基幹系への導入が進みつつある。今後は、交換局から各家庭を結ぶアクセス系、さらには、ホームネットワークへの適用が、光ファイバには期待されている。

【0003】光ファイバは、その特性に基づいて2種類に大別される。1つはシングルモードファイバ（以下、SMF (Single Mode Fiber) と称する）である。SMFにおいて、コアおよびクラッド双方の材質はシリカ(SiO<sub>2</sub>)である。SMFは、そのコア径が10 μm程度と極めて小さい。さらに、SMFでは特定のモードのみが伝播するため、広い伝送帯域を有するという特徴がある。そ

れゆえ、SMFは、主として、基幹系における長距離伝送・大容量伝送用に開発が進められ、広く普及してきた。

【0004】もう1つはマルチモードファイバ（以下、MMF (Multi Mode Fiber) と称する）である。MMFのコア径は、SMFのそれに比べて、 $50\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ と大きい。MMFは、コアまたはクラッドの材質に基づいて、幾種類かに分けられる。コアおよびクラッド双方の材質がシリカであるものは、GOF (Glass Optical Fiber) と呼ばれる。また、コアの材質のみがシリカで、クラッドの材質がポリマーであるものは、PCF (Polymer Clad Fiber) と呼ばれる。さらに、コアおよびクラッドすべての材質がプラスチックであるものは、POF (Plastic Optical Fiber) と呼ばれる。

【0005】以上のMMFでは、光の道筋である伝播モードが複数存在する。ここで、図12は、複数の伝播モードを示す模式図である。図12には、コア71およびクラッド72とから構成されるMMF73が示されている。光は、コア71およびクラッド72の境界面Fbdで反射を繰り返しながら、当該コア71内を進んでいく。したがって、境界面Fbdに対して平行なモードほど、1回の反射から次の反射までに、ファイバ軸上で到達できる距離が長くなる。このようなモード（一点鎖線参照）を低次モードMloと称する。逆に、1回の反射から次の反射までに、ファイバ軸上で到達できる距離が短いモード（二点鎖線参照）を高次モードMhiと称する。高次モードMhiは、ファイバ軸に対して大きな角度を有しているので、同じ長さのMMF73で考えた場合、低次モードMloに比べて境界面Fbdでの反射回数が多く、当該低次モードMloとの光路差が生じる。このような光路差によって、各モード毎でMMF73の入射面から出射面に到達する時間に差異が生じる。

【0006】以上のように、各モードは固有の伝播速度を持つので、伝播時間の短い低次モードMloに含まれるパルス列（信号はパルス列として伝送される）と、それが長い高次モードMhiに含まれるパルス列とは、同じ情報であるにも関わらず、当該情報の受信端には時間的なずれをもって到達してしまい、その結果、当該受信端は、正確に信号を受信できなくなる場合がある。このような現象はモード分散として知られており、SMFの伝送帯域に比べて、MMFのそれを大きく制限する要因となっている。

【0007】ところで、光ファイバの伝送帯域は、通常、光信号の伝送速度と伝送距離との積（例えば、 $\text{Mbps} \times \text{km}$ ）で表され、伝送速度が高いほど、伝送距離は短くなり、また、伝送距離を長くするためには、伝送速度を遅くしなければならない。モード分散の影響も、伝送速度が高いほど、または伝送距離が長いほど大きくなる。以上のことから、MMFを使った従来の光伝送システムでは、必要な伝送速度を得るためには、伝送距離

を短くしなければならないという問題点があった。

【0008】しかしながら、MMFはSMFに比べて安価であるため、単純に比較すると、当該MMFを使った光伝送システムは、SMFを使ったものと比べて、安価に構築できる。さらには、MMFのコア径はSMFのそれよりも大きいため、MMF同士の軸合わせが容易となり、MMF同士を接続するコネクタの実装精度が緩和される。以上のことから、MMFは、低コストの光伝送システムの構築に大きく貢献できる。そのため、モード分散の影響がそれほど問題にならない距離での光伝送にはMMFが好んで使用される。

【0009】このような利点を生かすために、MMFにおけるモード分散の影響を低減し、かつ光伝送システムの伝送帯域を向上させる技術が多数提案されている。以下には、その一例として、特開平10-227935号公報に開示された技術を、図13および図14を参照して説明する。図13は、従来の光伝送システムScvの全体構成を示すブロック図である。図13において、光伝送システムScvは、レンズ81を有する発光源82と、MMF83と、モード分離器84と、受信部85とを備える。また、図14は、図13に示すレンズ81およびMMF83の光結合関係を示す模式図である。図14に示すように、レンズ81とMMF83とは、結合効率が最大になるように配置される。より具体的には、レンズ81の光軸Aiz（一点鎖線参照）とMMF83のファイバ軸Afr（二点鎖線参照）とが一直線になるように、かつ入射面（MMF83の一方端面）Finと当該ファイバ軸Afrとの交点が、レンズ81の焦点Zfpに一致するように、MMF83は固定される。

【0010】以上の光伝送システムScvにおいて、レンズ81からの光信号は、MMF83の入射面Fin上で焦点を結ぶので、少ない結合損失で効率的にMMF83へと入射される。その後、光信号は、当該MMF83のコアを伝播するに従って、モード分散の影響を強く受ける。その結果、互いに伝播遅延量が異なる複数のモードを有する光信号がMMF83の出射面（MMF83の他方端面）Foutから出射される。MMF83からの出射光信号は、モード分離器84に入射し、当該モード分離器84によって必要なモードのみが選択される。その後、受信部85は、モード分離器84で選択された光信号を受信する。これによって、受信部85は、モード分散の影響が低減された光信号を受信できるので、MMF83の伝送帯域を向上させることができる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、モード分離器84は、主として、複数のレンズおよびミラーを含む光学系で構成されるため高価である。このような光学系により、光伝送システムScvは複雑な構成になってしまう。さらに、モード分離器84の構成要素同士の光軸合わせの精度が厳しい。そのため、従来の光伝送シス

テム Ser の構築および保守が高コストになるという問題点があった。

【0012】さらに、モード分離器 84 におけるモード選択効率を上げることが難しいという問題もある。ここで、モード選択効率とは、1 モード当たりのモード分離器 84 の入出力パワーの比である。上記モード選択効率が悪いと、受信部 85 への入力パワーが小さくなってしまふので、発光源 82 からの光信号のパワーを上げたり、受信部 85 の受光感度をあげたり、モード分離器 84 の後段に光増幅器を配置したりする必要も生じ、さらなるコストアップを招く。

【0013】それゆえに、本発明の目的は、モード分散の影響を低減しつつ低コストの、マルチモードファイバを使用した光伝送システムを提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段および発明の効果】以上の目的は、以下の各発明により達成される。また、各発明は、以下のような技術的效果を奏する。まず、第 1 の発明は、送信ユニットから受信ユニットへと、マルチモードファイバを通じて光信号を伝送する光伝送システムであって、送信ユニットは、光信号を生成する発光素子と、発光素子で生成された光信号を集束し、焦点を結ばせる少なくとも 1 つのレンズとを含む。レンズにより集束された光信号は、マルチモードファイバの入射面に入射され、当該マルチモードファイバを伝播する。また、受信ユニットは、マルチモードファイバから出射される光信号を受光する受光素子を含む。ここで、入射面は焦点以外の位置に配置される。

【0015】第 2 の発明は、第 1 の発明に従属しており、入射面は、レンズを基準として、焦点よりも離れた位置に配置される。

【0016】第 1 および第 2 の発明によれば、マルチモードファイバの入射面は焦点以外の位置に配置されるので、出射面からの光信号におけるモード分散の影響は低減される。これによって、マルチモードファイバの伝送帯域を向上させることができる。さらに、従来のようにモード分離器を付加する必要がなくなるので、低コストの光伝送システムを実現することが可能となる。

【0017】第 3 の発明は、光信号を生成して、マルチモードファイバに向けて出射する送信ユニットであって、光信号を生成する発光素子と、発光素子で生成された光信号を集束して、焦点を結ばせる少なくとも 1 つのレンズとを含む。レンズにより集束された光信号は、マルチモードファイバの入射面に入射される。ここで、レンズは、入射面が焦点以外に位置するように配置される。

【0018】第 4 の発明は、第 3 の発明に従属しており、入射面は、レンズを基準として、焦点よりも離れた位置に配置される。

【0019】第 5 の発明は、第 3 の発明に従属してお

り、送信ユニットは、マルチモードファイバが接続され、入射面を焦点以外の位置に固定するレセプタクルをさらに備える。

【0020】第 6 の発明は、送信ユニットから受信ユニットへと、マルチモードファイバを通じて光信号を伝送する光伝送システムであって、送信ユニットは、光信号を生成する発光素子と、発光素子で生成された光信号を集束して、焦点を結ばせる少なくとも 1 つのレンズとを含む。レンズにより集束された光信号は、マルチモードファイバの入射面に入射され、当該マルチモードファイバを伝播した後、当該マルチモードファイバの出射面から出射される。受信ユニットは、出射面からの光信号を、自身の受光面で受光する受光素子を含む。ここで、受光素子の受光面は、出射面から予め定められた距離だけ離して配置される。

【0021】第 6 の発明によれば、受光素子の受光面はマルチモードファイバの出射面から離れた位置に配置される。そのため、出射面からの光信号に含まれる高次モードは受光面に到着しない。つまり、受光素子は、出射面からの光信号の内、低次モードを限定受光することができるので、マルチモードファイバにおけるモード分散の影響を低減することができる。これによって、マルチモードファイバの伝送帯域を向上させることができる。さらに、従来のようにモード分離器を付加する必要がなくなるので、低コストの光伝送システムを実現することが可能となる。

【0022】第 7 の発明は第 6 の発明に従属しており、受光素子は、Si PIN フォトダイオードである。

【0023】第 8 の発明は、マルチモードファイバから出射される光信号を受信する受信ユニットであって、マルチモードファイバの出射面からの光信号を、自身の受光面で受光する受光素子と、マルチモードファイバが接続され、受光面から予め定められた距離だけ離れた位置に出射面を固定するレセプタクルとを備える。

【0024】第 9 の発明は、送信ユニットから受信ユニットへと、マルチモードファイバを通じて光信号を伝送する光伝送システムであって、送信ユニットは、光信号を生成する発光素子と、発光素子で生成された光信号を集束し、焦点を結ばせる少なくとも 1 つのレンズとを含む。レンズにより集束された光信号は、マルチモードファイバの入射面に入射され、当該マルチモードファイバを伝播した後、当該マルチモードファイバの出射面から出射される。受信ユニットは、出射面からの光信号を、自身の受光面で受光する受光素子を含む。ここで、入射面は焦点以外の位置に配置され、さらに、受光面は出射面から予め定められた距離だけ離して配置される。

【0025】第 10 の発明は第 9 の発明に従属しており、入射面は、レンズの頂点を基準として、焦点よりも離れた位置に配置される。

【0026】第 9 および第 10 の発明によれば、マルチ

モードファイバの入射面は焦点以外の位置に配置されるので、出射面からの光信号におけるモード分散の影響は低減される。さらに、受光素子の受光面はマルチモードファイバの出射面から離れた位置に配置される。そのため、出射面からの光信号に含まれる高次モードは受光面に到着しない。つまり、受光素子は、出射面からの光信号の内、低次モードを限定受光することができるので、マルチモードファイバにおけるモード分散の影響を低減することができる。これによって、マルチモードファイバの伝送帯域を向上させることができる。さらに、従来のようにモード分離器を付加する必要がなくなるので、低コストの光伝送システムを実現することが可能となる。

【0027】第11の発明は第9の発明に従属しており、受光素子は、Si PIN フォトダイオードである。

【0028】

【発明の実施の形態】（第1の実施形態）図1は、本発明の第1の実施形態に係る光伝送システムS<sub>a</sub>の全体構成を示すブロック図である。また、図2は、図1の光伝送システムS<sub>a</sub>における光結合を示す模式図である。以上の光伝送システムS<sub>a</sub>は、送信ユニット11と、マルチモードファイバ（以下、MMFと称す）12と、受信ユニット13とを備えている。

【0029】図1に示すように、送信ユニット11は、発光素子111と、少なくとも1つのレンズ112と、レセプタクル113とを含んでいる。発光素子111は、典型的には、半導体レーザまたは発光ダイオードからなり、入力電気信号E<sub>sin</sub>により駆動され、それによって、光信号O<sub>sin</sub>を出射する。また、レンズ112は、発光素子111と光軸合わせされた状態で配置され、当該発光素子111の出射光信号O<sub>sin</sub>を通過させる。ここで、本実施形態において、レンズ112の頂点Z<sub>0</sub>は、図2に示すように、当該レンズ112の光軸A<sub>12</sub>および表面F<sub>12</sub>の2交点の内、発光素子111から遠い方を意味する。また、焦点Z<sub>fp</sub>は、光軸A<sub>12</sub>において、レンズ112の通過光信号O<sub>sin</sub>が焦点を結ぶ位置を意味する。なお、図1に示すレセプタクル113については後述する。

【0030】また、図1において、MMF12は、グレーディッドインデックス型のガラスファイバ、ポリマクラッドファイバまたはプラスチック光ファイバである。また、図2に示すように、MMF12は、コア121およびクラッド122から構成されており、その一方端の外周にはコネクタプラグ123が取り付けられている。コネクタプラグ123は、送信ユニット11のレセプタクル113に填り込む。その結果、図2に示すように、MMF12のファイバ軸A<sub>fr</sub>と、レンズ112の光軸A<sub>12</sub>とが光軸合わせされ、同時に、コア121の一方側の端面（以下、入射面と称す）F<sub>in</sub>は、レンズ112

の頂点Z<sub>0</sub>に対して、ファイバ軸A<sub>fr</sub>に沿って予め定められた距離Z<sub>1</sub>だけ離れて位置する。距離Z<sub>1</sub>は、頂点Z<sub>0</sub>から焦点Z<sub>fp</sub>までの値以外に設定され、より好ましくは、焦点Z<sub>fp</sub>までの値よりも大きい値に設定される。

【0031】また、図2に示すように、コア121の他方端の外周にはコネクタプラグ124が取り付けられる。以上のようなMMF12において、レンズ112の通過光信号O<sub>sin</sub>は、入射面F<sub>in</sub>に入射される。詳細は後述するが、入射光信号O<sub>sin</sub>は、入射面F<sub>in</sub>が頂点Z<sub>0</sub>から距離Z<sub>1</sub>だけ離されることで、モード分散の影響を実質的に受けることなく、コア121を伝播し、その他方側の端面（以下、出射面と称する）F<sub>out</sub>から光信号O<sub>sout1</sub>として出射される。

【0032】また、図1において、受信ユニット13は、レセプタクル131と受光素子132とを含んでいる。レセプタクル131には、MMF12に取り付けられたコネクタプラグ124が填り込む。これによって、受信ユニット13とMMF12とが接続される。受光素子132は、好ましくは、Si PIN フォトダイオード（以下、Si PIN PDと称す）からなり、MMF12の出射光信号O<sub>sout1</sub>を受光する面（以下、受光面と称す）F<sub>pdi</sub>を有する。受光面F<sub>pdi</sub>は、出射面F<sub>out</sub>と実質的に同じ面積を有する。なお、受光面F<sub>pdi</sub>は、出射面F<sub>out</sub>よりも大きな面積を有していてもよい。さらに、受光面F<sub>pdi</sub>は、受信ユニット13およびMMF12の接続の結果、MMF12の出射面F<sub>out</sub>と平行に向かい合う。以上の受光素子132は、受光面F<sub>pdi</sub>の受光光信号O<sub>sout1</sub>を、前述の電気信号E<sub>sin</sub>と同じ情報を表す電気信号E<sub>sout1</sub>に変換する。

【0033】なお、受光素子132としてSi PIN PDが好ましいのは、当該Si PIN PDは一般的に大きな受光面F<sub>pdi</sub>を有するからである。しかし、受光面F<sub>pdi</sub>の大きさは本実施形態の本質に関係ないので、受光素子132は、Si PIN PD以外の種類のフォトダイオードから構成されてもよい。

【0034】次に、本実施形態の特徴である距離Z<sub>1</sub>について説明する。本出願人は、距離Z<sub>1</sub>を決めるために、上述の光伝送システムS<sub>a</sub>を使って、以下のような実験を行った。本実験の環境は下記の通りである。発光素子111は、30mAの直流電流注入時に1.8mWの光を発する。MMF12として、短距離伝送および長距離伝送の実験を行えるように、互いに長さが異なる2本のPCF(Polymer Clad Fiber)が準備される。より具体的には、短距離伝送用のMMF12の長さL<sub>fr</sub>は2mであり、長距離伝送用のMMF12の長さL<sub>fr</sub>は100mである。また、各MMF12のコア121はシリカ(SiO<sub>2</sub>)からなり、当該コア121の直径（以下、コア径と称する）φ<sub>cr</sub>（図2参照）は200μmである。また、クラッド122はメタクリル樹脂(PMMA)に代表されるポリマーからなり、その直径は230μmである。

【0035】次に、本実験の測定対象となるアイ開口率  $R$  および出力パワー  $P$  を説明する。ここで、図3は、MMF12の出射光信号  $O_{Sout1}$  のアイパターンを示す模式図である。アイ開口率  $R$  は、図3に示すようなアイパターンにおける振幅の最小値  $V_{pp1}$  と最大値  $V_{pp2}$  との比であり、 $V_{pp1} / V_{pp2}$  で表される。以上のアイ開口率  $R$  から、光伝送システム  $S_s$  における伝送帯域を調べることができる。また、出力パワー  $P$  は、MMF12の出射光信号  $O_{Sout1}$  の光パワーである。

【0036】以上の実験環境で、本出願人は、入射面  $F_{in}$  の位置  $Z_1$  に対するアイ開口率  $R$  および出力パワー  $P$  の特性を、パワーメータ等の測定機器を用いて測定した。その結果、本出願人は、図4のような測定結果を得た。図4において、横軸  $Z_1$  は、上述の光軸  $A_{1z}$  に等しく、レンズ112の頂点  $Z_0$  の位置を  $Z_1 = 0$  として、そこから入射面  $F_{in}$  までの距離を表している。すなわち、図4は、MMF12の入射面  $F_{in}$  を頂点  $Z_0$  から光軸  $A_{1z}$  ( $Z_1$  軸) に沿って離していったときの、アイ開口率  $R$  および出力パワー  $P$  を示している。

【0037】より具体的には、図4には、MMF12の長さ  $L_{fr}$  が2mの時（つまり、短距離光伝送時）における光信号  $O_{Sout1}$  のアイ開口率  $R$ （以下、アイ開口率  $R_{sd}$  と称す）および出力パワー  $P$ （以下、出力パワー  $P_{sd}$  と称す）が、●および○を使って示されている。さらに、図4には、長さ  $L_{fr}$  が100mの時（つまり、長距離伝送時）における、アイ開口率  $R$ （以下、アイ開口率  $R_{ld}$  と称す）および出力パワー  $P$ （以下、出力パワー  $P_{ld}$  と称す）が、▲および△を使って示されている。

【0038】以上の出力パワー  $P_{sd}$  および  $P_{ld}$  の双方の最大値は、 $Z_1$  が1.0mmから1.5mmまでの範囲内で観測されることから、この範囲内で、レンズ112の通過光信号  $O_{Sin}$  が焦点  $Z_{fp}$  を結ぶことが分かる。この意味で、 $Z_1$  が1.0mmから1.5mmまでの範囲を焦点範囲  $D_{fp}$ （図4中のドットのハッチング領域を参照）と称する。しかしながら、焦点範囲  $D_{fp}$  において、アイ開口率  $R_{ld}$  は著しく劣化している。このようなアイ開口率  $R_{ld}$  が劣化した光信号  $O_{Sout1}$  のアイパターン

（図3参照）を観測すると、振幅の最小値  $V_{pp1}$  および最大値  $V_{pp2}$  が大きく異なる。以上のことから、MMF12の入射面  $F_{in}$  が焦点範囲  $D_{fp}$  に設定された場合、光信号  $O_{Sin}$  を長距離伝送（100m伝送）することは困難であることが分かる。

【0039】一方、図4において、アイ開口率  $R_{sd}$  は、アイ開口率  $R_{ld}$  と異なり、 $Z_1$  の値に関わらず、ほぼ一定である。このようなアイ開口率  $R$  の相違は、 $Z_1$  の値に応じてモード分散の影響に違いがあり、当該光信号  $O_{Sin}$  の伝送距離が長くなる程モード分散の影響が顕著に現れるということを示している。

【0040】ここで、再度、図14を参照する。従来の光伝送システム  $S_{ev}$  では、MMF83への結合効率が最

大になるように（つまり、光信号が結合損失なく効率的にMMF83と入射するように）、焦点  $Z_{fp}$  にMMF83の入射面  $F_{in}$  が配置されていた。しかしながら、図4の各特性曲線からは、入射面  $F_{in}$  が焦点  $Z_{fp}$  に配置された時、MMF12が長くなるほど、光信号  $O_{Sin}$  は、より大きくモード分散の影響を受けることが明らかになった。つまり、モード分散の影響で、従来の光伝送システム  $S_{ev}$  では伝送帯域が制限されていたことが分かる。

【0041】以上のことは、理論的に以下のように説明することができる。まず、以下の説明で必要となる3つのパラメータ、上述の送信ユニット11の開口数（以下、 $NA_s$  と称す）、MMF12の開口数（以下、 $NA_f$  と称す）およびMMF12への入射開口数（以下、 $NA_{in}$  と称す）について説明する。

【0042】ここで、図5は、図1に示す送信ユニット11の  $NA_s$  を説明するための模式図である。図5に示すように、位置  $Z_{fp}$  で焦点を結んだ光信号  $O_{Sin}$  は、光軸  $A_{1z}$  に対してある角度  $\alpha$  で広がりながら当該光軸  $A_{1z}$  上を伝播していく。 $NA_s$  は、このような広がり具合であり、次式（1）で表される。

【0043】

【数1】

$$NA_s = \sin \alpha \quad \cdots (1)$$

【0044】焦点を結んだ光信号  $O_{Sin}$  が広がれば広がるほど、以上の  $NA_s$  は大きくなり、 $NA_s$  は、 $0 < NA_s \leq 1$  の値をとる。

【0045】また、MMF12への入射光において出射面  $F_{out}$  まで伝播するのは、ある範囲内の角度（以下、MMF12の伝播角度と称する）を有する成分だけである。このようなMMF12への伝播角度の内、最大のものを  $\beta_{max}$  とすると、 $NA_f$  は、次式（2）で表される。

【0046】

【数2】

$$NA_f = \sin \beta_{max} \quad \cdots (2)$$

【0047】通常、以上の  $NA_f$  は、コア121およびクラッド122の屈折率によって決まり、さらに言えば、上述の  $NA_s$  には依存しないパラメータである。もし、 $NA_f$  より大きな開口数の光が入射面  $F_{in}$  に入射したとしても、上述のMMF12の伝播角度の範囲外の成分は、MMF12の外に透過する。また、上述のように、入射光信号  $O_{Sin}$  が  $NA_f$  よりも小さな開口数を有する場合、入射面  $F_{in}$  に入射した全ての光成分がコア121内を伝播する。しかも、この場合、入射光信号  $O_{Sin}$  が  $NA_f$  よりも小さな開口数を有するので、入射光信号  $O_{Sin}$  における高次モードが少なくなり、モード分散が抑制される利点も得られる。

【0048】また、光伝送システム  $S_s$  では、入射面  $F_{in}$  の位置  $Z_1$  が決まれば、 $NA_s$  の光信号  $O_{Sin}$  の内、



ある範囲内の角度（以下、本実施形態において、MMF 12への到達角度と称する）を有するものしか当該入射面Finに到達できない。つまり、上述の到達角度の範囲外の光成分は、入射面Finから外れるため、コア121を伝播されない。さらに、MMF 12のNA<sub>f</sub>により、たとえ入射面Finに入射しても、入射光信号O Sinは出射面Foutまで伝播されるとは限らない。ここで、入射面Finへの入射光信号O Sinの内、MMF 12により出射面Foutまで伝播する成分の最大入射角度をβ<sub>th</sub>とする場合、上述のNA<sub>in</sub>は、次式（3）で表される。

【0049】

【数3】

$$NA_{in} = \sin \beta_{th} \cdots (3)$$

【0050】一般的に、上式（3）で表されるNA<sub>in</sub>が小さいほど、モード分散が抑制される。

【0051】ここで、図6は、上述のNA<sub>in</sub>を詳細に説明するために必要な入射光伝播面F<sub>ipr</sub>を説明するための図である。以下の説明では、図6において斜線のハッチングで表される入射面Finの面積をS<sub>f</sub>とする。また、入射面Finつまりコア径を、図2に示したのと同様、φ<sub>cr</sub>とする。さらに、図6においてドットのハッチングで表される入射光伝播面F<sub>ipr</sub>の面積をS（Z<sub>1</sub>）＊

$$NA_{in}(Z_1) = \sin \beta_{th}$$

$$= \sin \left( \left( \arctan \left( \frac{\phi_{cr}}{2 \cdot |Z_1 - Z_{fp}|} \right) \right) \right) ; S(Z_1) \geq S_f \cdots (4)$$

【0054】一方、S（Z<sub>1</sub>）がS<sub>f</sub>よりも小さい場合には、通過光信号O Sinは全て、入射面Finに入射し、さらに出射面Foutまで伝播する。この場合、NA

$$NA_{in}(Z_1) = \sin \beta_{th} = NA_s ; S(Z_1) < S_f \cdots (5)$$

【0056】次に、NA<sub>s</sub>がNA<sub>f</sub>よりも大きい場合について考える。この場合には、仮に、通過光信号O Sinが入射面Finに全て入射したとしても、NA<sub>f</sub>を超える成分（モード）はコア121を伝播しない。そのため、NA<sub>in</sub>（Z<sub>1</sub>）＝NA<sub>f</sub>で固定される。しかし、Z<sub>1</sub>が★

$$NA_{in}(Z_1) = \sin \beta_{th}$$

$$= \sin \left( \left( \arctan \left( \frac{\phi_{cr}}{2 \cdot |Z_1 - Z_{fp}|} \right) \right) \right) \leq NA_f \cdots (6)$$

【0058】以上のように、位置Z<sub>1</sub>を調整することで、NA<sub>in</sub>（NA<sub>in</sub>（Z<sub>1</sub>））を小さくすることが可能となる。これによって、光信号O Sinを長距離伝送する場合に問題となるモード分散の影響を抑制することができる。

【0059】実際の光伝送システムS<sub>a</sub>において、以上の位置Z<sub>1</sub>を決定するには、設計要件であるMMF 12

＊とする。ここで、入射光伝播面F<sub>ipr</sub>を幾何学的に定義する。まず、レンズ112（図示せず）の通過光信号O Sinは、焦点Z<sub>fp</sub>までは集束し、その後、円錐状に広がる。また、頂点Z<sub>0</sub>から距離Z<sub>1</sub>だけ離れた位置に、光軸A<sub>12</sub>に対する垂直面を仮想的に作る。入射光伝播面F<sub>ipr</sub>は、以上のような通過光信号O Sinを仮想垂直面で切った時の切断面を意味する。また、図6から明らかに、入射面Finの位置Z<sub>1</sub>を変更することで、面積S<sub>f</sub>と面積S（Z<sub>1</sub>）との比が変化し、さらには、NA<sub>in</sub>を調整することができる。すなわち、NA<sub>in</sub>は、Z<sub>1</sub>の関数となるので、NA<sub>in</sub>（Z<sub>1</sub>）と表すことができる。つまり、入射面Finの位置Z<sub>1</sub>を変更することで、光信号O Sinの伝送可能な距離や速度に影響を与えるモード分散を抑制することができるのである。

【0052】まず、NA<sub>s</sub>がNA<sub>f</sub>以下である場合について考える。この場合には、レンズ112の通過光信号O Sinの内、コア121に入射した成分は全て、出射面Foutまで伝播される。さらに、S（Z<sub>1</sub>）がS<sub>f</sub>以上である場合には、NA<sub>in</sub>（Z<sub>1</sub>）は、Z<sub>1</sub>が大きくなるにつれて小さくなり、次式（4）で表される。

【0053】

【数4】

NA<sub>in</sub>は、次式（5）で表される。

【0055】

【数5】

★大きくなり、NA<sub>in</sub>（Z<sub>1</sub>）＜NA<sub>f</sub>が満たされると、NA<sub>in</sub>（Z<sub>1</sub>）はZ<sub>1</sub>の増加につれて小さくなり、次式（6）で表される。

【0057】

【数6】

からの出力パワーPおよびアイ開口率Rの双方を考慮する必要がある。なぜなら、Z<sub>1</sub>の値を大きくしてモード分散の影響を抑制すればするほど、送信ユニット11およびMMF 12の間の結合損失が大きくなり、要求される出力パワーPを得ることが難しくなるからである。

【0060】例えば、図1に示す光伝送システムS<sub>a</sub>において、MMF 12の長さL<sub>fr</sub>が100m、出力パワー

Pが0.1mW以上、アイ開口率Rが50%以上という3つの設計要件が定められていると仮定する。この仮定下では、図4のアイ開口率 $R_{id}$ の特性(▲を参照)および出力パワー $P_{id}$ の特性(△を参照)から、 $Z_1$ の値は、好ましくは、2.0mmから2.5mmであれば良いことが分かる(図4中の斜線のハッチング領域を参照)。なお、単にモード分散の影響を低減するのであれば、 $Z_1$ の値は、少なくとも2.0mm以上であれば良い。以上のように、本光伝送システム $S_a$ によれば、位置 $Z_1$ の調整により、MMF12におけるモード分散の影響を低減でき、それによって、MMF12の伝送帯域を広げることができる。以上のことから、光伝送システム $S_a$ には従来のようなモード分離器84(図13参照)が必要なくなる。これによって、低コストの光伝送システム $S_a$ を提供することが可能となる。

【0061】なお、 $Z_1$ の値は、常に上述の2.0mm以上に限られるわけではなく、上述のMMF12の長さ $L_{fr}$ 、出力パワーPおよびアイ開口率Rに代表される設計要件に応じて変わりうる点には注意を要する。一般的に、伝送距離(長さ $L_{fr}$ )が長くなるほど、モード分散の影響は顕著になる。したがって、逆に、伝送距離が短くなると、 $Z_1$ の値は小さくなる。

【0062】(第2の実施形態)図7は、本発明の第2の実施形態に係る光伝送システム $S_b$ の全体構成を示すブロック図である。図8は、図7の光伝送システム $S_b$ における光結合を示す模式図である。以上の光伝送システム $S_b$ は、光伝送システム $S_a$ と比較すると、送信ユニット11および受信ユニット13が、送信ユニット21および受信ユニット22に代わる点で相違する。それ以外に両光伝送システム $S_b$ および $S_a$ の間に相違点はない。それゆえ、光伝送システム $S_b$ において、光伝送システム $S_a$ の構成に相当するものには、同じ参照符号を付けて、それらの説明を省略する。

【0063】図7において、送信ユニット21は、図1の送信ユニット11と比較すると、レセプタクル113がレセプタクル211に代わる点で相違する。それ以外に両送信ユニット21および11の間に相違点はない。それゆえ、送信ユニット21において、送信ユニット11の構成に相当するものには、同じ参照符号を付けてその説明を省略する。レセプタクル211には、MMF12の入射面 $F_{in}$ 側に取り付けられているコネクタプラグ123が填り込む。その結果、図8に示すように、MMF12のファイバ軸 $A_{fr}$ と、レンズ112の光軸 $A_{lz}$ とが光軸合わせされ、同時に、入射面 $F_{in}$ の位置は、レンズ112とMMF12との結合効率が最大になるように、実質的に焦点 $Z_{fp}$ に合わせられる。この点で、送信ユニット21は、図1の送信ユニット11と顕著に相違する。そのため、入射面 $F_{in}$ への入射光信号 $O_{Sin}$ は、モード分散の影響を受けながら、コア121内を伝播し、その出射面 $F_{out}$ から光信号 $O_{Sout2}$ として出射され

る。

【0064】また、図7において、受信ユニット22は、レセプタクル221と受光素子222とを含んでいる。レセプタクル221には、MMF12に取り付けられたコネクタプラグ124が填り込む。受光素子222は、好ましくは、Si PINPDからなり、MMF12の出射光信号 $O_{Sout2}$ を受光する面(以下、受光面と称す) $F_{PD2}$ を有する。本実施形態では、説明の便宜上、受光面 $F_{PD2}$ は、円形と仮定する。以上の受光面 $F_{PD2}$ は、図8に示すように、受信ユニット22およびMMF12の接続の結果、MMF12の出射面 $F_{out}$ と距離 $Z_2$ だけ離れた状態で平行に向かい合う。さらに、受光面 $F_{PD2}$ の中心軸 $A_{PD}$ はファイバ軸 $A_{fr}$ と軸合わせされる。以上の受光素子222は、図7に示すように、受光面 $F_{PD2}$ の受光光信号 $O_{Sout2}$ を、電気信号 $E_{Sin}$ と同じ情報を表す電気信号 $E_{Sout2}$ に変換する。

【0065】上述のように、本実施形態では、入射面 $F_{in}$ が焦点 $Z_{fp}$ に位置合わせされるので、入射光信号 $O_{Sin}$ は、第1の実施形態のそれよりも、大きなモード分散の影響を受ける。したがって、入射面 $F_{in}$ に同時に入射される光信号 $O_{Sin}$ の各モードは、互いに異なる時間に射出面 $F_{out}$ に到着する。そのため、出射光信号 $O_{Sout2}$ のアイ開口は塞がっている。このような出射光信号 $O_{Sout2}$ の全モードが受光面 $F_{PD2}$ に到達した場合、受信ユニット22は、電気信号 $E_{Sin}$ が表す情報を正しく受信できない。

【0066】ここで、図9は、図8に示す光信号 $O_{Sout2}$ に含まれる高次モード $M_{Hi}$ の高次出射角度 $\gamma_{Hi}$ と低次モード $M_{Lo}$ の低次出射角度 $\gamma_{Lo}$ とを示す模式図である。図9に示すように、高次モード $M_{Hi}$ および低次モード $M_{Lo}$ は、ファイバ軸 $A_{fr}$ に対して互いに異なる高次出射角度 $\gamma_{Hi}$ および低次出射角度 $\gamma_{Lo}$ で射出される。ここで、低次出射角度 $\gamma_{Lo}$ の方が、高次出射角度 $\gamma_{Hi}$ よりも小さい。したがって、 $Z_2$ の値が大きくなるほど、高次モード $M_{Hi}$ は、ファイバ軸 $A_{fr}$ から離れていく。以上のことから、 $Z_2$ の値を調整することで、高次モード $M_{Hi}$ が受光面 $F_{PD}$ から外れるので、受光素子222は、低次モード $M_{Lo}$ のみを限定的に受光することができるように

【0067】以上のような限定受光は、以下のように説明することができる。まず、以下の説明で必要となるパラメータ、MMF12の出射開口数(以下、 $NA_{out}$ と称す)、および受光面 $F_{PD2}$ の受光開口数(以下、 $NA_{PD}$ と称す)について説明する。

【0068】上述から明らかなように、MMF12の出射面 $F_{out}$ からは、様々な出射角度を有するモードが出射される。このような出射角度の内、最大のものを $\gamma_{max}$ とする場合、 $NA_{out}$ は、次式(7)で表される。

【0069】

【数7】

$$NA_{out} = \sin \gamma_{max} \cdots (7)$$

【0070】なお、本実施形態では、入射面F<sub>in</sub>が焦点Z<sub>fp</sub>に位置合わせされるので、以上のNA<sub>out</sub>は、前式(4)～(6)から求められるNA<sub>in</sub>(Z<sub>fp</sub>)と実質的に同じ値である。

【0071】また、光伝送システムS<sub>b</sub>では、距離Z<sub>2</sub>が決まれば、NA<sub>out</sub>を有する出射光信号O S<sub>out2</sub>において、ある範囲内の角度(以下、本実施形態において受光面F<sub>pd2</sub>への到達角度と称する)を有するモードしか、受光面F<sub>pd2</sub>に到達しない。ここで、出射面F<sub>out</sub>からの出射光信号O S<sub>out2</sub>の内、受光面F<sub>pd2</sub>に到達する各モードが有する出射角度の内、最大のものをγ<sub>th</sub>とする場合、NA<sub>pd</sub>は、次式(8)で表される。

【0072】

【数8】

$$NA_{pd} = \sin \gamma_{th} \cdots (8)$$

【0073】ここで、図10は、上述のNA<sub>pd</sub>を詳細に説明するために必要な出射光伝播面F<sub>opr</sub>を説明するための図である。以下の説明では、図10において格子状のハッチングで表される出射面F<sub>out</sub>の面積をS<sub>f</sub>とする。また、出射面F<sub>out</sub>つまりコア径をφ<sub>cr</sub>とする。さらに、図10において斜線のハッチングで表される受光面F<sub>pd2</sub>の面積をS<sub>pd</sub>とする。また、本実施形態では、受光面F<sub>pd2</sub>は円形であると仮定する。この仮定下において、受光面F<sub>pd2</sub>の直径をφ<sub>pd</sub>とする。さらに、図1\*

$$NA_{pd}(Z_2) = \sin \gamma_{th}$$

$$= \sin \left( \arctan \left( \frac{\phi_{pd} - \phi_{cr}}{2 \cdot Z_2} \right) \right) ; S(Z_2) \geq S_{pd} \cdots (9)$$

【0076】MMF12からの出射光信号O S<sub>out2</sub>の内、出射角度が小さくなるほど、モードの次数が低くなるので、ファイバ軸A<sub>fr</sub>上で、受光面F<sub>pd2</sub>を出射面F<sub>out</sub>から距離Z<sub>2</sub>だけ離すことにより、受光素子222は、高次モードM<sub>H1</sub>を避けて、低次モードM<sub>L0</sub>のみを限定受光できることが分かる。以上のことから、本実施形態によれば、図13に示すようなモード分離器84が必要とすることなく、位置Z<sub>2</sub>の調整だけで、MMF12におけるモード分散の影響を低減でき、さらに、MMF12の伝送帯域を広げることができる。これによって、※

$$NA_{pd}(Z_2) = \sin \gamma_{th} = NA_{out} ; S(Z_2) < S_{pd} \cdots (10)$$

【0079】ここで、S(Z<sub>2</sub>)がS<sub>pd</sub>よりも小さいということは、φ<sub>cr</sub>がφ<sub>pd</sub>よりも小さく、かつ受光面F<sub>pd2</sub>が出射面F<sub>out</sub>に近接していることを意味する。さらに、この場合には、受光素子222は低次モードM<sub>L0</sub>のみを限定受光することができない。以上のことから、受光面F<sub>pd2</sub>を出射面F<sub>out</sub>から離すことの必要性が分かる。

【0080】実際の光伝送システムS<sub>b</sub>において、以上の距離Z<sub>2</sub>を決定するには、設計要件である受光面F<sub>pd2</sub>への入力パワーと、当該受光面F<sub>pd2</sub>の受光光信号

\*0においてドットの手ハッチングで表される出射光伝播面F<sub>opr</sub>の面積をS(Z<sub>2</sub>)とする。ここで、出射光伝播面F<sub>opr</sub>を幾何学的に定義する。まず、MMF12の出射光信号O S<sub>out2</sub>は、放射状に広がる。また、出射面F<sub>out</sub>から距離Z<sub>2</sub>だけ離れた位置に、ファイバ軸A<sub>fr</sub>に対する垂直面を仮想的に作る。出射光伝播面F<sub>opr</sub>は、以上のような出射光信号O S<sub>out2</sub>を仮想垂直面で切った時の切断面を意味する。また、出射面F<sub>out</sub>の距離Z<sub>2</sub>を変更することで、最大出射角度γ<sub>th</sub>が変化し、さらに、NA<sub>pd</sub>を調整することができる。すなわち、NA<sub>pd</sub>は、Z<sub>2</sub>の関数としてNA<sub>pd</sub>(Z<sub>2</sub>)と表すことができる。つまり、出射面F<sub>out</sub>を原点とした受光面F<sub>pd</sub>の距離Z<sub>2</sub>を変更することで、受光素子222は、出射光信号O S<sub>out2</sub>のアイ開口が塞がる原因となる高次モードM<sub>H1</sub>を避けて、低次モードM<sub>L0</sub>(図9参照)のみを限定受光することができる。これによって、受光素子222は、電気信号E<sub>sin</sub>と同じ情報を表す電気信号E S<sub>out2</sub>を生成することができるようになる。

【0074】上述のNA<sub>pd</sub>(Z<sub>2</sub>)をさらに詳しく説明する。まず、S(Z<sub>2</sub>)がS<sub>pd</sub>以上の場合について考える。この場合、NA<sub>pd</sub>(Z<sub>2</sub>)は、Z<sub>2</sub>の値が大きくなるにつれて小さくなり、次式(9)で表される。

【0075】

【数9】

※低コストで高伝送帯域の光伝送システムS<sub>b</sub>を提供することが可能となる。

【0077】一方、S(Z<sub>2</sub>)がS<sub>pd</sub>よりも小さな場合、受光面F<sub>pd2</sub>には、MMF12の出射光信号O S<sub>out2</sub>に含まれる全てのモードが到達する。つまり、NA<sub>pd</sub>(Z<sub>2</sub>)は、NA<sub>out</sub>と同じ値になり、次式(10)で表される。

【0078】

【数10】

F<sub>out</sub>のアイ開口率の双方を考慮する必要がある。なぜなら、Z<sub>2</sub>の値を大きくしてモード分散の影響を抑制すればするほど、MMF12および受信ユニット22の間の結合損失が大きくなり、要求される入力パワーを得ることが難しくなるからである。さらに、距離Z<sub>2</sub>を決定するには、光伝送システムS<sub>b</sub>の設計要件であるMMF12の長さL<sub>fr</sub>、および光信号O S<sub>in</sub>の伝送速度も考慮する必要がある。つまり、モード分散の影響は、長さL<sub>fr</sub>および伝送速度が大きくなる程、顕著になるので、Z<sub>2</sub>の値は大きくする必要がある。

【0081】（第3の実施形態）図11は、本発明の第3の実施形態に係る光伝送システムS<sub>c</sub>の全体構成を示すブロック図である。簡単に説明すると、図11の光伝送システムS<sub>c</sub>は、第1および第2の実施形態の特徴的な部分を組み合わせであり、送信ユニット11、MMF12および受信ユニット22とを備えている。そのため、図11において、図1または図7の構成に相当するものには、同じ参照符号を付けて、その説明を簡素化する。

【0082】図11において、コネクタプラグ123は、送信ユニット11のレセプタクル113に填入む。その結果、図2を参照して説明したように、MMF12のファイバ軸A<sub>fr</sub>と、レンズ112の光軸A<sub>lz</sub>とが光軸合わせされ、同時に、コア121の入射面F<sub>in</sub>は、レンズ112の頂点Z<sub>0</sub>に対して、予め定められた距離Z<sub>1</sub>だけ離れて位置する。距離Z<sub>1</sub>は、頂点Z<sub>0</sub>から焦点Z<sub>fp</sub>までの値以外に設定され、より好ましくは、焦点Z<sub>fp</sub>までの値よりも大きい値に設定される。

【0083】また、MMF12に取り付けられたコネクタプラグ124はレセプタクル221に填入む。その結果、図8を参照して説明したように、受光面F<sub>PD2</sub>は、MMF12の出射面F<sub>out</sub>と距離Z<sub>2</sub>だけ離れて対向する。さらに、受光面F<sub>PD2</sub>の中心軸A<sub>PD</sub>はファイバ軸A<sub>fr</sub>と軸合わせされる。

【0084】以上の光伝送システムS<sub>c</sub>では、MMF12からの光信号O<sub>Sout2</sub>は、入射面F<sub>in</sub>が頂点Z<sub>0</sub>から距離Z<sub>1</sub>だけ離れているため、モード分散の影響を実質的に受けない。また、たとえ、モード分散の影響があったとしても、受光面F<sub>PD2</sub>が出射面F<sub>out</sub>から距離Z<sub>2</sub>だけ離れているため、光信号O<sub>Sout2</sub>の低次モードM<sub>Lo</sub>のみを限定受光する。したがって、光伝送システムS<sub>c</sub>は、光伝送システムS<sub>a</sub>およびS<sub>b</sub>よりも、MMF12におけるモード分散の低減することができる。さらに、モード分離器84（図13参照）も不要となる。以上のことから、さらに低コストで広帯域の光伝送システムS<sub>c</sub>を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る光伝送システム

S<sub>a</sub>の全体構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示す光伝送システムS<sub>a</sub>の光結合を示す模式図である。

【図3】図1に示す光信号O<sub>Sout1</sub>のアイパターンを示す模式図である。

【図4】図2に示す距離Z<sub>1</sub>に対する光信号O<sub>Sout1</sub>のアイ開口率Rおよび出力パワーPの変化を示すグラフである。

【図5】図1に示す送信ユニット11の開口数（=sinα）を説明するための模式図である。

【図6】入射光伝播面F<sub>ipr</sub>を説明するための模式図である。

【図7】本発明の第2の実施形態に係る光伝送システムS<sub>b</sub>の全体構成を示すブロック図である。

【図8】図7に示す光伝送システムS<sub>b</sub>の光結合を示す模式図である。

【図9】高次出射角度γ<sub>H1</sub>および低次出射角度γ<sub>Lo</sub>を説明するための模式図である。

【図10】出射光伝播面F<sub>opr</sub>を説明するための模式図である。

【図11】本発明の第3の実施形態に係る光伝送システムS<sub>c</sub>の全体構成を示すブロック図である。

【図12】一般的な高次モードM<sub>H1</sub>および低次モードM<sub>Lo</sub>を示す模式図である。

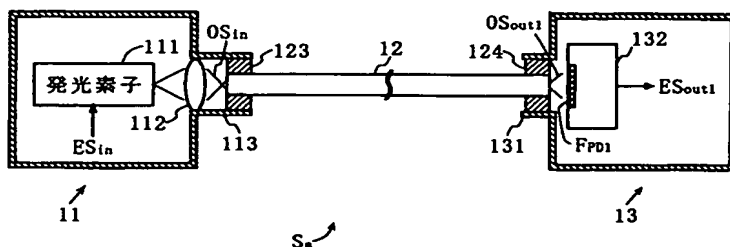
【図13】従来の光伝送システムS<sub>cv</sub>の全体構成を示すブロック図である。

【図14】図13に示す発光源82およびマルチモードファイバ83の光結合を示す模式図である。

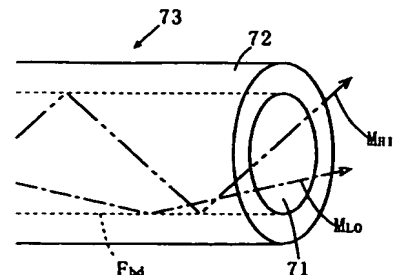
【符号の説明】

- 11、21…送信ユニット
- 111…発光素子
- 112…レンズ
- 113、211…レセプタクル
- 12…マルチモードファイバ
- 13、22…受信ユニット
- 131、221…レセプタクル
- 132、222…受光素子

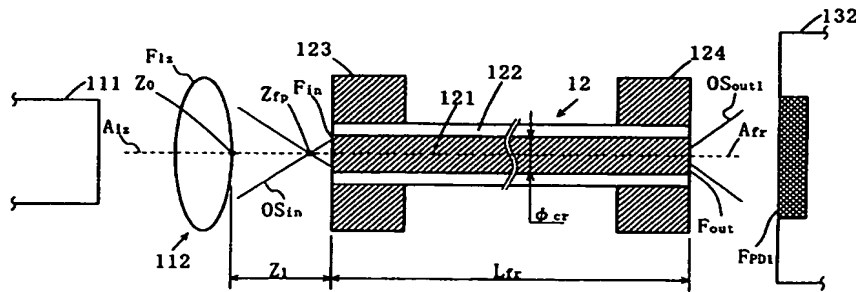
【図1】



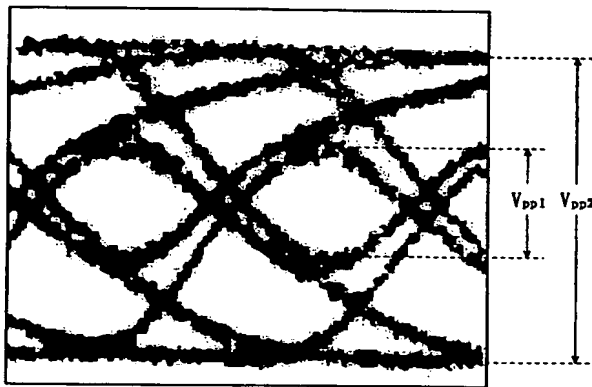
【図12】



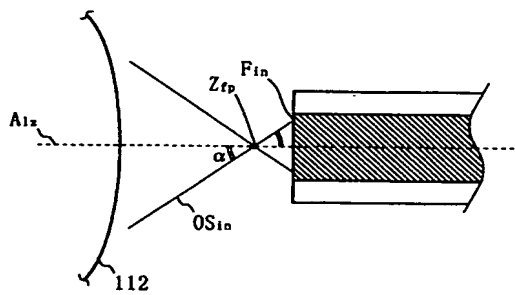
【図2】



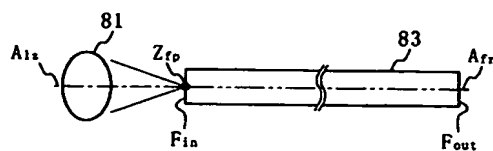
【図3】



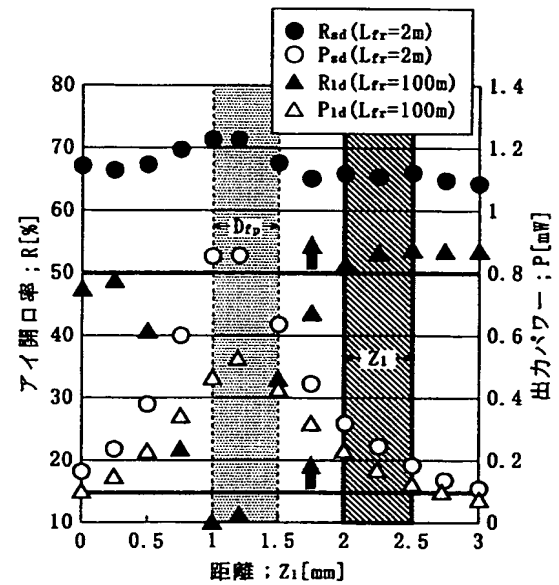
【図5】



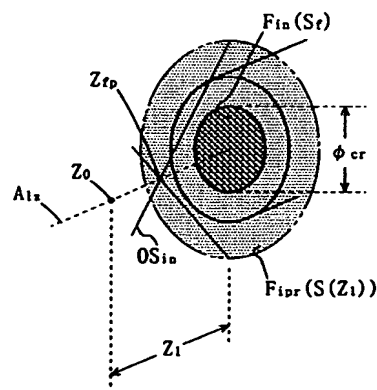
【図14】



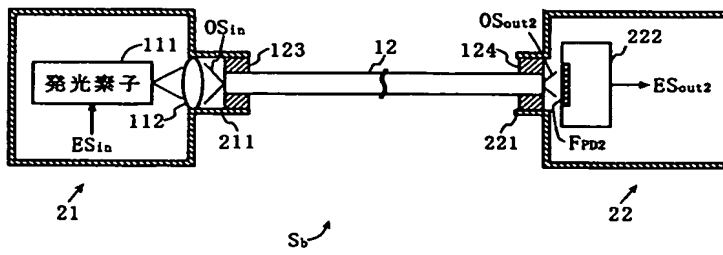
【図4】



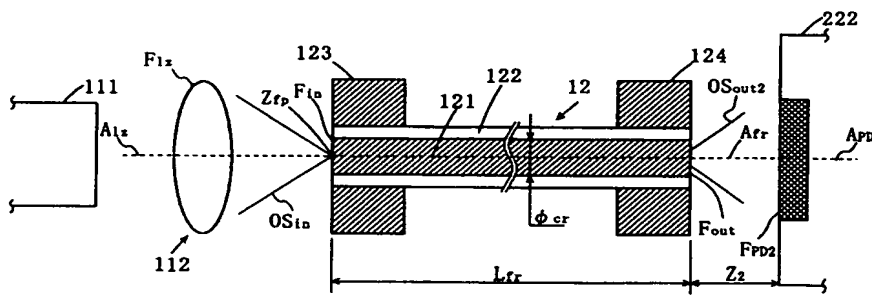
【図6】



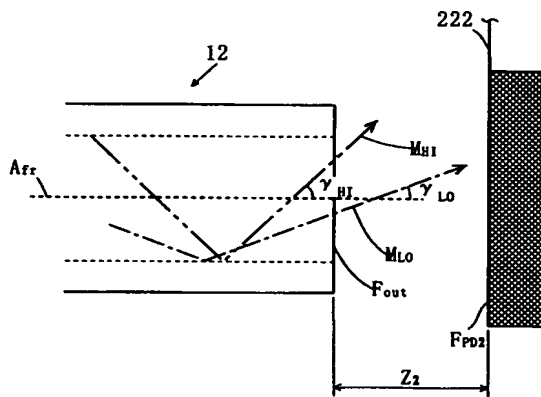
【図7】



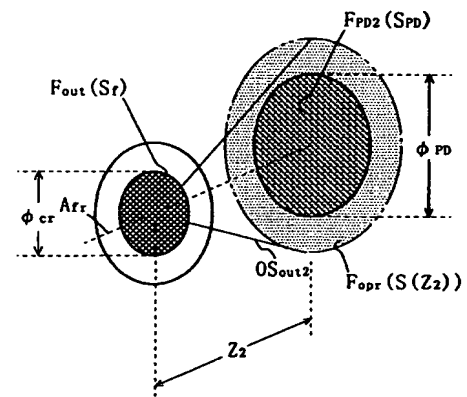
【図8】



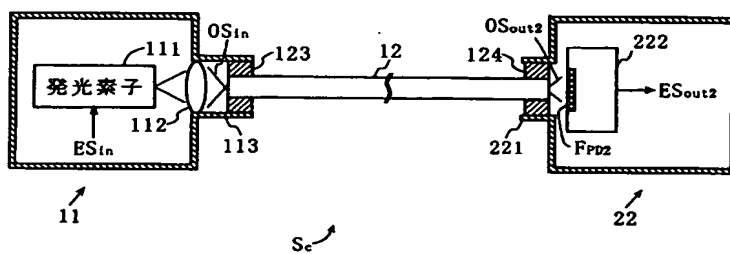
【図9】



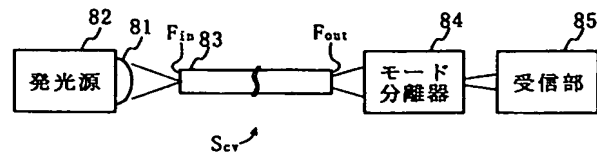
【図10】



【図11】



【図13】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

ターマート (参考)

H O 4 B 10/135

10/14

10/18

(72) 発明者 森倉 晋

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

F ターム (参考) 2H037 AA01 BA03 CA02 DA03 DA04

DA06

5F088 AA03 BA20 BB01 GA04 JA12

JA14

5K002 BA03 BA13 BA14 BA15 CA01

FA02